



HORVÁTH GÁBOR
FARKAS ALEXANDRA
KRISKA GYÖRGY

A POLÁROS
ÉNY

KÖRNYEZETOPTIKAI
ÉS BIOLÓGIAI
VONATKOZÁSAI



A poláros fény környezetoptikai és biológiai vonatkozásai

Horváth Gábor, Farkas Alexandra, Kriska György

A poláros fény környezetoptikai és biológiai vonatkozásai

Budapest, 2016





A könyv az OTKA 2015/1, PUB-I 117239 számú pályázati támogatásával jelent meg.

A borító Potyó Imre *Csillagtánc* c. fényképének felhasználásával készült.

© Horváth Gábor, Farkas Alexandra, Kriska György 2016

ISBN 978 963 312 253 2



www.eotvoskiado.hu



Felelős kiadó: Hunyady András ügyvezető igazgató
Projektvezető: Sándor Júlia
Felelős szerkesztő: Gaborják Ádám
Tipográfia: Anders Tibor
Borítóterv: Csele Kmotrik Ildikó
Nyomda: Multiszolg Bt.

Tartalom

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	9
ELŐSZÓ.....	11
1. OPTIKAI KÖRNYEZETÜNK POLARIZÁCIÓS MINTÁZATAI BIOLÓGIAI VONATKOZÁSOKKAL.....	15
1.1. A fény polarizációja és annak mérése különböző polariméterekkel	15
1.2. Tiszta és felhős égboltok polarizációs mintázatai.....	25
1.3. Az égbolt polarizálatlan (neutrális) pontjai.....	33
1.4. Hőlégballonos vadászat a negyedik (utolsó) polarizálatlan pontra	47
1.5. A holdfény által megvilágított éjszakai égbolt polarizációs mintázata	54
1.6. Poláros pillantás az égre teljes napfogyatkozáskor	71
1.7. A vízfelszín polarizációja.....	90
1.8. Délibábok polarizációja	98
2. A FÉNYPOLARIZÁCIÓ ÉRZÉKELÉSE.....	107
2.1. A rovarszem modellje	107
2.1.1. Az appozíciós összetett szem	107
2.1.2. Egyszerű demonstrációs eszközök az összetett szem alkotta mozaikkép szemléltetésére	109
2.2. Polarizációlátás az állatvilágban	121
2.3. Vízre szállás reggel, délben, este.....	128
2.4. A kérészek polarizációérzékelése	135
2.4.1. A tiszavirág fénypolarizáció alapú vízdetekciója.....	135
2.4.2. A kedvezőtlen élőhelyek elkerülése a kérészek polarotaktikus viselkedése révén	147
2.5. Polarotaxis árvaszúnyogoknál: a nőstény árvaszúnyogok vonzódnak a vízszintesen poláros fényhez	162
2.6. A bögölyök polarizációérzékelése	169
2.7. A polarotaxis ingerküszöbének vizsgálata kérészeknél, szitakötőknél és bögölyöknél	172
2.8. A polarizációlátás UV-paradoxonának légköroptikai feloldása	178
2.8.1. A polarizációlátás UV-paradoxona	178
2.8.2. Felhős égboltról vagy lombokról érkező fény polarizációfokának UV-beli viselkedése.....	186
2.8.3. A polarizációlátás UV-paradoxonának feloldása	191
2.8.4. Amikor az égbolt-polarizációt a kékben érdemes érzékelni.....	192
2.8.5. Az égbolt-polarizáció érzékelése és a polarotaktikus vízdetekció közötti analógia	192

2.9. Színlátás és fénypolarizáció	193
2.10. A cirkulárisan fénypolarizáló szkarabeuszok nem érzékelik a cirkuláris polarizációt.....	197
2.10.1. A szkarabeuszok cirkulárispolarizáció-érzékelésének évszázados hipotézise.....	197
2.10.2. A szkarabeuszok cirkulárispolarizáció-érzékelésének kísérleti vizsgálata	200
2.10.3. Kísérleti eredmények: a szkarabeuszok nem reagálnak a cirkuláris polarizációra	211
3. POLÁROS FÉNYSZENNYEZÉS ÉS POLARIZÁCIÓS ÖKOLÓGIAI CSAPDÁK ..	215
3.1. Poláros fényszennyezés, a környezeti ártalmak egy új formája	215
3.2. Nyíltszíni olajtározók vizuális ökológiai hatásai	226
3.2.1. A kuvaiti kőolajtavak állatokra gyakorolt vonzása.....	226
3.2.2. A budapesti pakurató mint vízirovarcsapda	235
3.2.3. A budapesti pakurató mint madárcsapda.....	240
3.3. Polárosan becsapott temetői szitakötők	243
3.4. Poláros fényszennyező piros és fekete autók	251
3.5. Kérészek az aszfalton	263
3.6. Folyó felett átívelő hidak hatása a tiszavirág rajzási viselkedésére.....	272
3.7. Pernyemezők polarotaktikus vízirovarokra gyakorolt hatása.....	280
3.8. A dunavirágot érintő komplex ökológiai csapda	285
3.9. A napelem evolúciós csapdája	299
3.10. A matt autók bevonata nem mindig csökkenti a poláros fényszennyezést	308
3.11. Folyóparti üvegépületek poláros fényszennyezése	319
3.12. A lovak fehérségének egy nem várt előnye, avagy minimális bögölyvonzású lovak	331
3.13. A poláros fényszennyezés csökkentésének zebrák által kifejlesztett trükkje	345
3.14. A foltos kültakaró előnye.....	359
4. POLÁROS CSAPDÁKKAL A BÖGÖLYÖK ELLEN	369
4.1. Bögölypapír: A klasszikus légypapír átváltozása hatékony bögölycsapdává	371
4.2. Folyadékcsapda: Esőálló olajcsapda	377
4.3. Napelemes bögölykasza.....	381
4.3.1. Terepkísérletek napelemes bögölycsapdákkal	381
4.3.2. A napelemes bögölycsapda hatékonysága	386
4.3.3. A napelemes bögölycsapda előnyei és hátrányai.....	389
5. AZ ÉGBOLT-POLARIZÁCIÓS VIKING NAVIGÁCIÓ HIPOTÉZISE ÉS KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA	393
5.1. A viking kor	393
5.2. A vikingek navigációja	399
5.3. Tájékozódás napiránytűvel	399
5.4. A Nap helyének becslése a felhők fényességmintázata alapján.....	402

5.5. Az égbolt-polarizációs viking navigáció hipotézise és lépései	407
5.6. Az égbolt-polarizációs viking navigáció meteorológiai és légköroptikai feltételei	413
5.7. Az égbolt-polarizációs viking navigáció terepi pszichofizikai vizsgálata	417
5.8. A viking navigáció 1. lépésének laboratóriumi vizsgálata	420
5.9. A viking navigáció 2. lépésének planetáriumi vizsgálata	424
5.10. Új lehetséges viking navigációs eszközök	428
5.10.1. Navigáció alkonyfény-iránytűvel.....	428
5.10.2. Új eszköz a földrajzi szélesség meghatározására	431
6. ZÁRSZÓ	
ÖSSZEFOGLALÓ TANMESE A FÉNYPOLARIZÁCIÓRÓL, ANNAK ÉRZÉKELÉSÉRŐL ÉS BIOLÓGIAI JELENTŐSÉGÉRŐL	437
6.1. Darwin poláros tanácsokkal látja el a látásával elégedetlen méhet	437
6.2. A tücsök és az ég poláros kékje.....	443
6.3. A lombok alatt napnyugtakor repkedő cserebogár	444
6.4. Darwin polarotaxissal vértetzi fel a vízipoloskát	444
6.5. A vízirovar sarkított panaszai: Polarizációs napóra és poláros fényszennyezés.....	445
6.6. Darwin becsíkozta a zebrát a vérszívó bögölyök ellen.....	448
6.7. A cirkulárisan polarizáló testű rózsabogár	449
6.8. Darwin szembe ültetett polarizációs égi iránytűvel látá el a tengeren bolyongó vikinget	450
IRODALOMJEGYZÉK	453

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Horváth Gábor és Kriska György e könyvben bemutatott kutatásait a következő pályázatok támogatták: (i) OTKA F-014923: *Természetes polarizációs mintázatok és az állatok polarizációlátása* (1995–1998), (ii) OTKA T-020931: *A madarak és rovarok vízdetektálásának és fénypolarizáció-érzékelésének kísérletes vizsgálata* (1996–1999), (iii) OTKA F-025826: *A budapesti pakurató állatokra kifejtett hatásának viselkedés-ökológiai vizsgálata és környezet-biofizikai monitorozása* (1998–2000), (iv) OTKA K-68462: *Közvetlen és közvetett polarotaxis vizsgálata tegzeseknél és kétélyszárnyúaknál* (2007–2011), (v) OTKA K-105054: *Égbolt-polarimetria a felhők felismerésére és a polarimetrikus viking navigációnak kedvező meteorológiai viszonyok vizsgálatára* (2012–2016), (vi) Eu-FP7, TabaNOid-232366: *Trap for the novel control of horse-flies on open-air fields* (2009–2011). Jelen kiadvány megjelenését az OTKA PUB-I-117239 (2015–2016) publikációs pályázat finanszírozta.

Horváth Gábor kutatásait a Deutsche Forschungsgemeinschaft (Tübingen), Bayerisches Staatsministerium für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst (München), a Széchenyi István Ösztöndíj Alapítvány, a Magyar Állami Eötvös Ösztöndíj, a Magyar Zoltán posztdoktori ösztöndíj (Művelődési és Közoktatási Minisztérium), a Bolyai János kutatói ösztöndíj (Magyar Tudományos Akadémia), a Humboldt kutatói ösztöndíj (Tübingen, Regensburg), a Széchenyi István ösztöndíj (Oktatási Minisztérium) is támogatta.

Farkas Alexandra a könyv társszerzőjeként köszönetét fejezi ki a Magyar Templeton Programnak a számára, mint Junior Templeton Fellow számára nyújtott támogatásért.

A szerzők hálásak a következő magyar kollégáiknak, társszerzőiknek és diákjaiknak a könyvben bemutatott kutatási eredmények eléréséhez történő nélkülözhetetlen hozzájárulásukért: Andrikovics Sándor, Bakos Attila, Barta András, Barta Pál, Báhidszki Lea, Bernáth Balázs, Bíró László Péter, Blahó Miklós, Boda Pál, Búza Orsolya, Csabai Zoltán, Csák Balázs, Czinke László, Dévai György, Egri Ádám, Farkas Róbert, Fekete Gábor, Fischer Mária, Fogl László, Gál József, Gubek István, Gyurkovszky Mónika, Haiman Ottó, Havasi András, Hegedüs Ramón, Hegedüs Tibor, Herczeg Tamás, Hopp Sándor, Horváth Ákos, Horváth János, Horváth Loránd, Horváth Sebestyén Lénárd, Horváth Viktor, Jankovics István, Jäger Zoltán, Jósmai Júlia, Kertész Krisztián, Kovács József, Kretzer Balázs, Lengyel Szabolcs, Majer József, Malik Péter, Málnás Kristóf, Molnár Ákos, Móra Arnold, Nehéz Dóra, Neumann László, Polyák László, Pomozi István, Potyó Imre, Prill Éva, Sándor András, Seres István, Simon István, Sinkovics Csenge, Sipőcz Brigitta, Suhai Bence, Szabó Gyula, Száz Dénes, Szél Győző, Szivák Ildikó, Tarjányi Nikolett, Tóth Miklós, Viski Csaba.

E könyv ábrái a szerzők és fenti társszerzőik munkája, az ettől eltérő esetben a forrást külön jelöltük.

ELŐSZÓ

1. Optikai környezetünk polarizációs mintázatai biológiai vonatkozásokkal

E fejezetből megtudja az olvasó, hogy az égbolt jellegzetes, a felhőzöttségi viszonyoktól és a napállástól is függő polarizációs mintázata nemcsak meteorológiai, légköroptikai, hanem biológiai szempontból is fontos, mivel azt számos állat (például rovar, rák, hal, két-élű, hüllő és madár) felhasználja térbeli tájékozódásra (orientációra és navigációra). Képkotó polarimetriával a spektrum különböző tartományaiban mérhető és látványosan megjeleníthető ez az egész égboltra kiterjedő polarizációmintázat. Ezen égbolt-polarizációs mintázat minden olyan esetben kiváló viszonyítási irányt szolgáltathat a polarizációérzékeny látórendszerű állatok számára, mikor azok más vizuális vagy más érzéki (például mágneses) jelek híján vannak. E mintázat tiszta, derült, részben felhős, erősen felhős, borult és ködös időben, továbbá erdőtüz füstje miatt fakó égbolt esetén is különböző. Emellett teljes napfogyatkozás idején annyira módosulnak, térben és időben oly bonyolultan változnak a megvilágítási viszonyok, hogy az égbolt polarizációs mintázata ilyenkor is drasztikusan megváltozik. A teljes napfogyatkozás totalitásakor az égbolt átlagos polarizációfoka jóval kisebb a normál égbolténál és az égboltfény polarizációirányának eloszlása is merőben eltér a normál égboltétól. Emiatt például az égbolt-polarizáció alapján tájékozódó méhek a totalitás alatt eltévedhetnek és elpusztulhatnak.

E fejezetből az is kiderül, hogy a vízirovarok a vízfelszínről tükröződő napfény és égboltfény vízszintes polarizációja alapján találják meg az életterüket. Képkotó polarimetriával vizsgálható a vízfelszínnek a víztest optikai sajátosságaitól, valamint a napállástól és az égbolt polarizációeloszlásától függő tükröződési-polarizációs mintázata. A polarizációérzékeny vízirovarokat érdekes módon nem téveszti meg az emberi szem számára csillogó vízfelületet utánzó délibáb, aminek okait e jelenség polarizációs sajátosságainak képkotó polarimetriai tanulmányozása adta meg.

A napfény légkörbeli szóródása miatt a tiszta égbolt kék fénye az iránytól függően részlegesen lineárisan poláros. Létezik azonban három olyan kitüntetett irány, amerről polarizálatlan égboltfény érkezik a földi megfigyelőhöz. A poláros ég e helyeit neutrális vagy polarizálatlan pontoknak nevezik, utalva az innen eredő szórt fény polarizáció szempontjából semleges voltára. Az Arago-, Babinet- és Brewster-pontok az 1809-es, 1840-es és 1842-es évben történt felfedezésük óta számos földi polarimetriai mérés tárgyát képezték, mivel az égen elfoglalt helyükből a légköri aeroszol típusára és mennyiségére lehetett következtetni, ami fontos információ a meteorológiában. Ellentétben a fenti hárommal, a 4. neutrális pont a földről nem látható, azt először 180° látószögű képkotó polarimetriával nekünk sikerült

kimutatni 2002-ben egy hőléggallonos méréssel. E vállalkozást az tette igazán jelentőssé, hogy mivel összesen csak négy neutrális pont alakul ki a napsütötte tiszta légkörben normál megvilágítási körülmények között, ezért az utolsó, kísérletileg még nem észlelt 4. neutrális pont megfigyelése kerek egészé tette a légkörfizika neutrális pontokkal foglalkozó ágát. Mindennek kalandos részletei is kiderülnek e fejezetből.

2. A fénypolarizáció érzékelése

A fény emberi szem számára gyakorlatilag érzékelhetetlen egyik sajátosságát, a fénypolarizációt számos állatfaj képes észlelni. Ennek érzékelése a szemeikben található, erre szakosodott polarizációérzékeny fotoreceptorokkal történik. E fejezet összefoglalja a rovarok polarizációérzékelését, és hogy e képességüket mire használják. Különös hangsúllyal tárgyaljuk a méhek látását, a különböző vízirovarok (szitakötők, kérészek, bögyölők, vízibogarak és vízipoloskák) fénypolarizáció alapján történő vízdetekcióját, mely ismeretek a két másik fejezetben tárgyalt poláros fényszennyezés és polarizációs bögyölcsapdák alapjául szolgálnak.

Légköroptikai szempontból meglepő, hogy sok rovarfaj a térbeli tájékozódásra használt poláros égboltnfényt az ultraibolya (UV-) tartományban érzékeli, hiszen az égboltnfénynek mind az intenzitása, mind a polarizációfoka lényegesen kisebb az UV-tartományban, mint a kékben vagy a zöldben. E jelenséget nevezzük a polarizációérzékelés UV-paradoxonának, amit mások korábbi sikertelen próbálkozásai után nekünk sikerült feloldanunk az e fejezetben is felvázolt egyszerű légköroptikai számításokkal és megfontolásokkal.

Mind ez ideig az volt a széles körben elfogadott vélekedés, hogy azok a cirkulárisan poláros fényben szegény optikai környezetben élő és balra cirkulárisan poláros fényt visszaverő kitinpáncélú szkarabeusz bogarak (például rózsabogarak, cserebogarak, ganajtúrók), amelyek páncélja balra cirkulárisan poláros fényt ver vissza, képesek lehetnek érzékelni a cirkuláris polarizációt, és e vizuális jel segítheti őket a fajtársak egymásra találásában. E feltételezést teszteltük és kísérleteink eredményeiből azt a következtetést vontuk le, hogy a vizsgált négy szkarabeuszfaj (*Anomala dubia*, *Anomala vitis*, *Cetonia aurata*, *Potosia cuprea*) nem érzékeli a cirkulárisan poláros fényt, nem reagál arra a fajtársak vagy táplálék keresése közben. E fejezet bemutatja az ezzel kapcsolatos kísérleteket és azok eredményeit.

3. Poláros fényszennyezés és polarizációs ökológiai csapdák

A fényszennyezés problémája az utóbbi évtizedekben széles körben ismertté vált. A felfelé világító éjszakai földfelszíni mesterséges fények légkörről való, lefelé történő visszaszóródását eleinte ártalmatlan jelenségnek tekintették, a közvilágítás elterjedésével azon-

ban kiderült, hogy a mesterséges fények az élővilágra is káros hatással vannak, például egyes rovarok tömeges pusztulását és a rájuk épülő táplálékláncok és életközösségek romlását okozhatják. Azonban nemcsak erős fényforrások, hanem egyes sötét és csillogó felületek (például aszfaltutak, fekete autókarosszériák, fekete sírkövek, üveglapokkal díszített épületek, olajtavak, vízszintes napelemtáblák, fekete mezőgazdasági műanyag fóliák) is képesek vízirovarokat tömegesen magukhoz vonzani és elpusztítani. Ennek két oka a vízirovarok pozitív polarotaxisa (vízszintesen poláros fényhez való vonzódása) és a fénytükröző sötét felületek okozta visszaverődési fénypolarizáció. A kérészek (Ephemeroptera), álkérészek (Plecoptera), szitakötők (Odonata), bogarak (Coleoptera), poloskák (Heteroptera), kétszárnyúak (Diptera) és tegzesek (Trichoptera) rendjébe tartozó, 300-nál is több vízirovarfajról ismert már, hogy pozitív polarotaxissal rendelkezik, mert a vízfelszínről tükröződő fény vízszintes polarizációja alapján keresi vízi élőhelyeit. Így e rovarok mindegyike érintett a poláros fényszennyezésnek nevezett, széles körben elterjedt azon ökológiai csapdajelenségben, hogy az erősen és vízszintesen polarizáló mesterséges felületek poláros vízfelszínt utánóztatva megtévesztik és odavonzzák e rovarokat, melyek rájuk rakják petéiket, amik kiszáradás miatt elpusztulnak, így gyengítvén a rovarpopuláció túlélési esélyeit.

E fejezet részletesen ismerteti a poláros fényszennyezés főbb forrásait, azok képalkotó polarimetriával mért optikai sajátságait, és az érintett polarotaktikus rovarcsoportokat. Bemutatásra kerül továbbá az is, hogy miként csökkenthető vagy küszöbölhető ki a poláros fényszennyezés a fénypolarizáló felületek színének, irányulásának és/vagy érdekességének alkalmas megváltoztatásával.

E fejezetből azt is megtudhatja az olvasó, hogy a poláros fényszennyezés csökkentésének egyik hatékony módját a zebráktól és foltos emlősöktől is el lehetett volna lesni. Kiderült ugyanis, hogy a zebrák csíkosságának, a szarvasmarhák tarkafoltosságának és a lovak fehérségének egyik előnye, hogy őket kevésbé támadják a polarotaktikus bögölyök, mint a homogén sötét színű társaikat. Terepkísérletekben igazoltuk, hogy az erősen polarizáló felületek poláros fényszennyezése csökkenthető megfelelően vékony és sűrű fehér csíkmintázattal, mivel a felület kis poláros cellái már nem vonzzák a polarotaktikus rovarokat. A sötét színű autókarosszériák érdekessé tétele, mattítása azonban nem csökkenti a poláros fényszennyezésüket, mert a matt karosszériák csak egyes rovarcsoportok számára kevésbé vonzóak.

4. Poláros csapdákkal a bögölyök ellen

A bögölyök (Diptera: Tabanidae) számos súlyos problémát okoznak az embereknek és házonállatoknak egyaránt, mivel vérszívó nőtényeik betegségek kórokozóit terjesztik. A vérszívó bögölyök folyamatosan zaklatják az állatokat, különösen a lovakat és szarvasmarhákat,

aminek következtében azok nem tudnak eleget legelni, s így a hús- és tejtermelésük jelentősen csökken, ami komoly gazdasági károkkal jár.

Kimutattuk, hogy a bögölyöket vonzza a lineárisan poláros fény, mely viselkedést pozitív polarotaxisnak hívják: az iváshoz, peterakáshoz és a test hűtését szolgáló fürdéshez szükséges vizet a vízfelszínről tükröződő fény vízszintes polarizációja segítségével találják meg, míg a vérszívásra alkalmas gazdaállatokat a kültakarójukról visszavert fény polarizációfoka alapján. Ily módon, a bögölyök lineárisan poláros fénnel egy adott helyre csalogathatók, majd valamilyen mechanikai vagy kémiai módszerrel elpusztíthatók. E fejezetben három merőben új, általunk kifejlesztett és szabadalmaztatott polarizációs bögölycsapdát mutatunk be: a ragadós bögölypapírt, a folyadékcsapdát és a napelemes bögölykaszát, mely csapdáknak a hagyományos bögölycsapdákhoz képesti sokkal nagyobb hatékonyságát terepkísérleteink bizonyították. E kutatás jó példája annak, hogy egy tisztán alaptudományos eredmény – a bögölyök pozitív polarotaxisának felfedezése – hogyan hasznosulhat a gyakorlatban egy új rovarcsapda kifejlesztésénél.

5. Az égbolt-polarizációs viking navigáció hipotézise és kísérleti vizsgálata

A 900–1200 közötti időszakban az Atlanti-óceán északi részét a vikingek uralták, akik mágneses iránytű nélkül is kiválóan tájékozódtak a nyílt vizeken. Napsütésben egy speciális napiránytű segítségével navigálhattak, azonban máig nem ismert, hogy az északon gyakran előforduló ködös és felhős időben miként határozták meg a Nap égi helyét. Egy széles körben elfogadott, de máig nem bizonyított hipotézis szerint a vikingek ilyenkor az égboltfény lineáris polarizációját kihasználva tájékozódhattak, amit polárszűrőként működő napkőkristályokkal határoztak meg.

E fejezetben bemutatásra kerülnek ennek az égbolt-polarizációs viking navigáció megfelelő pontosságú működésének a meteorológiai, légköroptikai és pszichofizikai feltételei, illetve a hipotetikus módszer egyes lépései, valamint azok planetáriumi és laboratóriumi pszichofizikai kísérletekben mért hibafüggvényei és főbb tanulságai. E kutatás jelentősége abban áll, hogy egy korábban számszerűen nem tanulmányozott rejtélyes navigációs eljárást, valamint az azzal kapcsolatos tudományos hipotézist és vitát tisztáz, ami több tudományterületet (fizika, meteorológia, antropológia, történelem, földrajz) is érint. Az elvégzett kutatások eredményei segítenek bizonyítani vagy cáfolni a szóban forgó hipotézist. E vizsgálatokkal megbecsülhető annak valószínűsége, hogy különböző meteorológiai körülmények között mekkora az esélye annak, hogy a vikingek égbolt-polarizációs módszerével (azaz a rendelkezésre álló napkőkristályok segítségével) adott pontossággal megkapjuk a földrajzi északi irányt.



ELTE Eötvös Kiadó, 2016 • www.eotvoskiado.hu

Az égbolt jellegzetes, felhőzöttségtől és napállástól függő polarizációs mintázata nemcsak meteorológiai, hanem biológiai szempontból is fontos. Kiváló viszonyítási irányt szolgáltat a polarizációérzékeny látórendszerű állatoknak, mikor azok más jel híján vannak.

Könyvünkben részletesen tárgyaljuk ezen égi mintázat jellemzőit tiszta, derült, felhős, borult és ködös időben, füst jelenlétében, valamint teljes napfogyatkozásakor. Beszámolunk azon hőlégballonos méréseinkről is, melyek során kimutattuk a poláros ég 4. polarizálatlan (neutrális) pontjának létezését. Bemutatjuk továbbá, hogy a különböző vízirovarok (például kérészek, szitakötők, vízipoloskák, vízbogarak és bögölyök) a vízfelszínről tükröződő nap- és égboltfény vízszintes polarizációja alapján miként találják meg petéző helyüket, életterületet. Ebben a vizet utánozó délibáb nem okoz zavart, az erősen és vízszintesen poláros fényt tükröző mesterséges felületek (például aszfaltutak, napelemtáblák, sötét autók, fényes fekete mezőgazdasági műanyag fóliák, fekete sírkövek, üvegépületek és kőolajtavak) azonban vízfelszínt utánozva megtévesztik és vonzzák e polarotaktikus rovarokat.

A könyvből kiderül, hogy az előbbi jelenségeken alapuló poláros fényszennyezés csökkentésének egyik trükkje a zeb-ráktól is elleshető, és hogy miként működnek a fénypolarizációs bögölycsapdák. Részletesen utánajárunk azon hipotézisnek is, miszerint a viking hajósok borult és ködös időben napkőkristályokat és az égboltfény lineáris polarizációját használva tájékozódhattak a nyílt tengeren.

A könyv megrendelhető:

<http://eotvospontok.hu/a-polaros-feny-kornyezetoptikai-es-biologiai-vonatkozasai>